



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 57 834 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
G 01 R 27/28
H 03 H 21/00

②1 Aktenzeichen: 198 57 834.2
②2 Anmeldetag: 15. 12. 98
④3 Offenlegungstag: 14. 10. 99

DE 198 57 834 A 1

③0 Unionspriorität:
056149 06. 04. 98 US
⑦1 Anmelder:
Hewlett-Packard Co., Palo Alto, Calif., US
⑦4 Vertreter:
Schoppe & Zimmermann, 81479 München

⑦2 Erfinder:
Dunsmore, Joel P., Sebastopol, Calif., US; Marzalek,
Michael S., Bodega Bay, Calif., US; Wood, Susan,
Santa Rosa, Calif., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Netzwerkanalysatormeßverfahren unter Verwendung einer adaptiven Signalverarbeitung

⑤7 Ein Netzwerkanalysatormeßverfahren stellt adaptiv Meßparameter des Netzwerkanalysators basierend auf einen Satz von Messungen eines zu testenden Elements (DUT) und gemäß einer Benutzer-spezifizierten Grenzkontur, einem maximal zulässigen Meßfehler oder anderen Entscheidungskriterien ein. Die Meßgeschwindigkeit des Netzwerkanalysators wird optimiert, indem anschließende Messungen des DUT unter Verwendung der eingestellten Meßparameter durchgeführt werden. Die Meßbandbreite, die Anzahl von Meßdurchgängen oder die Frequenzposition von Anregungspunkten des Analysators wird bzw. werden optimiert, wenn das DUT charakterisiert wird.

DE 198 57 834 A 1

Die Meßgeschwindigkeit ist ein wesentlicher Verhaltensparameter von modernen Netzwerkanalysatoren. Wenn Netzwerkanalysatoren in Herstellungsumgebungen verwendet werden, beeinflußt die Meßgeschwindigkeit direkt den Meßdurchsatz und die Meßkosten. Daher wurden verschiedene Lösungsansätze verwendet, um die Meßgeschwindigkeit zu erhöhen. Statt des Durchführens vieler Messungen bei gleichförmig nah beabstandeten Frequenzstellen kann ein Benutzer beispielsweise spezifizieren, daß Messungen bei einer begrenzten Anzahl von ungleichmäßig beabstandeten Frequenzstellen durchgeführt werden, die gemäß den voraussichtlichen elektrischen Verhaltenscharakteristika eines zu testenden Elements (DUT; DUT = Device Under Test) ausgewählt sind. Alternativ kann der Benutzer die Meßbandbreite des Netzwerkanalysators breit einstellen, oder eine niedrige Anzahl von Meßdurchgängen für das DUT spezifizieren, um die Meßgeschwindigkeit zu erhöhen.

Bei jedem dieser Lösungsansätze spezifiziert der Benutzer des Netzwerkanalysators Meßparameter des Netzwerkanalysators, wie z. B. die Anzahl und Position von Meßpunkten, die Meßbandbreite oder die Anzahl von Meßdurchgängen basierend auf angenommenen elektrischen Charakteristika des zu testenden Elements (DUT). Da die angenommenen elektrischen Charakteristika von den tatsächlichen elektrischen Charakteristika des DUT unterschiedlich sind, führen diese Benutzer-spezifisierten Meßparameter zu Kompromissen bei der Meßgenauigkeit des Netzwerkanalysators. Demgemäß besteht ein Bedarf nach einem Meßverfahren, das unabhängig von angenommenen elektrischen Charakteristika des DUT ist, und das die Meßgeschwindigkeit des Netzwerkanalysators erhöht, ohne daß die Meßgenauigkeit übermäßig beeinflußt wird.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein schnelles und genaues Meßverfahren zu schaffen.

Diese Aufgabe wird durch ein Meßverfahren nach Patentanspruch 1, 10 oder 15 gelöst.

Die Verfügbarkeit von schnellen Mikroprozessoren und digitalen Signalprozessoren erlaubt es, daß gemessene Daten innerhalb eines Netzwerkanalysators viel schneller manipuliert und verarbeitet werden können, als die gemessenen Daten von dem Netzwerkanalysator erfaßt werden können. Als Ergebnis ist die Meßgeschwindigkeit des Netzwerkanalysators inhärent durch die Anzahl von Anregungspunkten, bei denen Messungen durchgeführt werden, durch die Meßbandbreite des Netzwerkanalysators oder durch die Anzahl von Meßdurchgängen begrenzt, die von dem Netzwerkanalysator durchgeführt werden, um ein zu testendes Element (DUT) zu charakterisieren. Gemäß den bevorzugten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung führt ein Netzwerkanalysator-meßverfahren eine vorläufige Messung des DUT durch, wonach die gemessenen Daten verarbeitet und basierend auf den verarbeiteten Daten Meßparameter des Netzwerkanalysators adaptiv eingestellt werden, wie z. B. die Anzahl und Frequenzposition von Meßpunkten (Punktoptimierung), die Meßbandbreite (Bandbreitenoptimierung) oder die Anzahl von durchgeführten Meßdurchgängen (Rauschoptimierung). Anschließend Messungen des DUT werden unter Verwendung der eingestellten Meßparameter durchgeführt. Das Reduzieren der Anzahl von Anregungspunkten oder der Anzahl von Meßdurchgängen erhöht die Meßgeschwindigkeit des Netzwerkanalysators. Das Erhöhen der Meßbandbreiten erhöht ferner die Meßgeschwindigkeit des Netzwerkanalysators. Da die Meßparameter gemäß tatsächlich gemessener elektrischer Charakteristika des DUT und nicht aufgrund von Annahmen über die Charakteristika des DUT eingestellt werden, wird die Meß-

geschwindigkeit optimiert, ohne daß ein willkürlicher Kompromiß der Meßgenauigkeit eingegangen wird. Die Punktoptimierung, die Rauschoptimierung und die Bandbreitenoptimierung liefern maximale Meßgeschwindigkeit basierend auf einem Benutzer-spezifisierten maximal zulässigen Meßpegel, einer Benutzer-spezifisierten Grenzkontur für das DUT oder anderen Entscheidungskriterien, die dem Netzwerkanalysator zugeführt werden.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen detailliert erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Netzwerkanalysator, der mit dem Netzwerkanalysator-meßverfahren gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung verwendet wird;

Fig. 2a ein Flußdiagramm eines Netzwerkanalysator-meßverfahrens, das gemäß dem ersten bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist;

Fig. 2b ein Flußdiagramm eines Netzwerkanalysator-meßverfahrens, das gemäß dem zweiten bevorzugten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist; und

Fig. 2c ein Flußdiagramm eines Netzwerkanalysator-meßverfahrens, das gemäß dem dritten bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist.

Fig. 1 zeigt einen Netzwerkanalysator 10, der mit dem Netzwerkanalysator-meßverfahren gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung verwendet wird. Anregungs/Erfassungs-Einheiten 1, 2 liefern Testsignale oder Anregungen zu dem zu testenden Element (DUT). Typischerweise werden die Anregungen abwechselnd zu einem Tor A und zu einem Tor B des DUT durch Signalquellen S1 bzw. S2 zugeführt, und zwar abhängig von dem DUT und der spezifizierten Meßsequenz. Wenn beispielsweise eine Reflexionsmessung S11 oder eine Transmissionsmessung S21 des DUT durchgeführt wird, wird eine Anregung zu dem Tor A des DUTs durch die Signalquelle S1 geliefert. Wenn eine Reflexionsmessung S22 oder eine Transmissionsmessung S12 durchgeführt wird, wird eine Anregung zu dem Tor B des DUT von der Signalquelle S2 geliefert.

Zusätzlich zum Liefern von Anregungen zu dem DUT erfassen die Einheiten 1, 2 ebenfalls Messungen des DUT unter Verwendung von einem oder mehreren Empfängern R1-R4 innerhalb der Einheiten 1, 2. Wenn beispielsweise eine Reflexionsmessung S11 des DUT durchgeführt wird, werden Messungen von der Einheit 1 unter Verwendung der Empfänger R1, R2 erfaßt. Wenn eine Reflexionsmessung S22 des DUT durchgeführt wird, werden Messungen von der Einheit 2 unter Verwendung der Empfänger R3, R4 erfaßt. Wenn eine Transmissionsmessung S21 oder S12 des DUT durchgeführt wird, werden Messungen gleichzeitig von der Einheit 1 und der Einheit 2 unter Verwendung der entsprechenden Empfänger innerhalb jeder der Einheiten 1, 2 durchgeführt. Gemessene Daten für das DUT werden einem Prozessor 8 von den Einheiten 1 und 2 zugeführt, wo sie verarbeitet werden, um eine Steuerung der Meßparameter des Netzwerkanalysators 10 zu liefern.

Die Meßbandbreite der Empfänger R1-R4 innerhalb jeder Einheit 1, 2 ist unabhängig einstellbar. Die Frequenz, die Leistung oder andere Charakteristika der Anregungen, die von der Signalquelle S1 und der Signalquelle S2 geliefert werden, sind über Steuersignale C1, C2 unabhängig einstellbar. Das Steuersignal C1 stellt die Signalquelle S1 ein, während das Steuersignal C2 die Signalquelle S2 einstellt.

Die Meßgeschwindigkeit des Netzwerkanalysators 10, mit der das DUT charakterisiert wird, wird unter Verwendung einer Bandbreitenoptimierung, einer Rauschoptimierung oder einer Punktoptimierung optimiert. Die Bandbrei-

tenoptimierung wird gemäß dem ersten bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung durchgeführt. Die Rauschoptimierung wird gemäß dem zweiten bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung durchgeführt. Die Punktoptimierung wird gemäß dem dritten bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung durchgeführt. Sowohl die Bandbreiten- als auch die Rausch- und die Punktoptimierung werden unabhängig voneinander durchgeführt, oder die Optimierungen werden in Kombination durchgeführt, um die Meßgeschwindigkeit des Netzwerkanalysators 10 zu erhöhen.

Bandbreitenoptimierung

Allgemein wird die Meßgeschwindigkeit des Netzwerkanalysators erhöht, indem die Meßbandbreite von einem oder mehreren der Empfänger R1-R4 erhöht wird, die verwendet werden, um die Messungen des DUT durchzuführen. Abhängig von dem Typ der Empfänger R1-R4 und der Filter, die innerhalb des Netzwerkanalysators verwendet werden, wird die Meßbandbreite durch Einstellen analoger Filter gesteuert, die hardwaremäßig innerhalb der Empfänger implementiert sind. Alternativ wird die Meßbandbreite gesteuert, indem die Verarbeitungsbandbreite digitaler Filter innerhalb des Netzwerkanalysators 10 eingestellt wird, beispielsweise durch Aktualisieren der Koeffizienten der digitalen Filter.

Das Erhöhen der Meßbandbreite erhöht jedoch ebenfalls die Rauschkomponente der Messung, wodurch entsprechend der Meßfehler oder die Meßunsicherheit erhöht wird. Der Gewinn bezüglich der Meßgeschwindigkeit aufgrund einer erhöhten Meßbandbreite führt wiederum zu einer resultierenden Zunahme des Meßfehlers. Die Bandbreitenoptimierung findet einen Ausgleich zwischen der Zunahme der Meßgeschwindigkeit gegenüber dem maximal zulässigen Meßfehler, der Verhaltensgrenzkontur für das DUT oder anderen Benutzer-spezifisierten Entscheidungskriterien, die dem Prozessor 8 zugeführt werden. Messungen des DUT innerhalb eines vorläufigen Datensatzes, der durch die Einheiten 1, 2 erfaßt wird, werden ebenfalls dem Prozessor 8 zugeführt, der die Messungen mit den Entscheidungskriterien vergleicht. Der Prozessor 8 stellt dann die Meßbandbreite basierend auf den Vergleichen ein, so daß die Meßbandbreite des Netzwerkanalysators so breit als möglich eingestellt wird, während gleichzeitig die Entscheidungskriterien befriedigt werden. Die Meßbandbreite kann beispielsweise auf eine maximale Breite eingestellt werden, bei der ein ausreichend niedriger Meßfehler immer noch erreicht wird. Alternativ wird die Meßbandbreite auf die maximale Breite eingestellt, bei der der Mittelwert plus der Varianz um einen ausreichenden Betrag innerhalb der Verhaltensgrenzkontur für das DUT sind. Die Grenzkontur für das DUT kann eine Serie von Linien, Kurven oder Punkten sein, die beispielsweise das Durchlaßband oder das Sperrband spezifizieren, wenn das DUT ein Filter ist, oder die die minimale oder maximale Verstärkung spezifizieren, wenn das DUT ein Verstärker ist, oder irgendein anderer Typ einer Grenzkontur, die verwendet wird, um Verhaltensanforderungen des DUT zu spezifizieren. Dieses Entscheidungskriterium ist erfüllt, wenn die Messungen des DUT die Verhaltensanforderungen überschreiten, die durch die Grenzkontur spezifiziert sind. Der maximal zulässige Fehler für das DUT ist ein spezifizierter Bereich, innerhalb dessen Meßvarianzen, die Meßunsicherheit oder der Meßfehler fallen müssen. Das Entscheidungskriterium ist erfüllt, wenn diese Charakteristika der Messungen um einen vorbestimmten Betrag innerhalb den maximal zulässigen Fehler zu liegen kommen. Das Entscheidungskriterium kann ebenfalls eine vordefinierte Si-

gnalamplitude sein, die durch die Anregungs/Erfassungseinheiten 1, 2 gemessen wird, wobei dieses Entscheidungskriterium erfüllt ist, wenn die Messungen des DUT innerhalb eines vorbestimmten Bereichs der vordefinierten Amplituden sind, oder alternativ, wenn die Messungen außerhalb des vorbestimmten Bereichs der vordefinierten Amplituden sind.

Fig. 2a ist ein Flußdiagramm 20 der Meßschritte der Bandbreitenoptimierung, die in dem Meßverfahren enthalten ist, das gemäß dem ersten bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist. In einem Schritt 21 werden die Meßbandbreiten der Empfänger R1-R4 auf bestimmte Breiten eingestellt. Die vorbestimmten Breiten basieren auf Meßcharakteristika, die von einem vorher gemessenen DUT erfaßt wurden, oder sie sind Benutzer-spezifizierte Standardbreiten. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind die vorbestimmten Breiten die maximalen Meßbandbreiten des Netzwerkanalysators oder sie sind alternativ ausreichend breit, so daß vorläufige Messungen des DUT mit hoher Meßgeschwindigkeit durchgeführt werden.

In einem Schritt 22 wird ein vorläufiger Datensatz mit den Meßbandbreiten, die auf die vorbestimmten Breiten eingestellt sind, erfaßt. Der Netzwerkanalysator ist derart konfiguriert, daß der vorläufige Datensatz eine Serie von Messungen umfaßt, die bei unterschiedlichen Frequenzpositionen durchgeführt werden, oder alternativ, so daß der vorbestimmte Datensatz zwei oder mehr Messungen umfaßt, die bei jeder Frequenzposition durchgeführt werden. In einem Schritt 23 wird eine Auswahl durchgeführt, ob oder ob nicht statistische Charakteristika von Messungen innerhalb des Datensatzes berechnet und mit den Entscheidungskriterien verglichen werden. Wenn in dem Schritt 33 nicht auf statistische Eigenschaften gebaut wird, folgt dem Schritt 23 ein Schritt 26. In einem Schritt 26 vergleicht der Prozessor 8 jede Messung in dem vorläufigen Datensatz mit einer Benutzer-spezifisierten Grenzkontur, und es wird in einem Schritt 27 basierend auf dem Vergleich eine Entscheidung getroffen. Wenn das Verhalten des DUT ausreichend ist, basierend auf dem Vergleich der in dem Schritt 26 durchgeführt wird, wird die Meßsequenz beendet. Wenn die Meßsequenz nicht beendet wird, werden die Meßbandbreiten bei den vorbestimmten Breiten gelassen, oder es wird eine oder mehrere der Meßbandbreiten innerhalb des Netzwerkanalysators 10 in einem Schritt 28 eingestellt. In diesem Schritt 28 werden die Meßbandbreiten relativ zu der vorbestimmten Breite erhöht oder bei der maximalen Breite gelassen, wenn die vorbestimmte Breite die maximale Breite ist, wenn die gemessenen Daten in dem Datensatz um einen ausreichenden Betrag innerhalb der Grenzkontur sind. Die Meßbandbreite wird relativ zu der vorbestimmten Breite verringert, wenn die gemessenen Daten in dem Datensatz nicht um einen geeigneten Betrag innerhalb der Grenzkontur sind. Anschließende Messungen werden unter Verwendung der eingestellten Meßbandbreiten durchgeführt, wobei zusätzliche Daten des DUT aufgenommen werden, um das DUT in einem Schritt 29 besser zu charakterisieren. Diese zusätzlichen Daten, die in dem Schritt 29 erfaßt werden, werden dann mit den Daten in dem vorläufigen Datensatz kombiniert, und die Meßschritte 23 bis 29 des Bandbreitenoptimierungsmeßverfahrens 20 werden wiederholt, bis die Entscheidungskriterien erfüllt sind.

Wenn der Netzwerkanalysator 10 so konfiguriert ist, daß der vorläufige Datensatz oder der vorläufige Datensatz und in dem Schritt 29 zusätzlich erfaßte Daten zumindest zwei Messungen aufweisen, die an einer Frequenzposition durchgeführt worden sind, werden statistische Charakteristika der Messungen innerhalb des Datensatzes berechnet und mit

den Entscheidungskriterien verglichen. In dem Schritt 24 werden statistische Eigenschaften der Messungen innerhalb des Datensatzes, wie z. B. der Mittelwert und die Varianz der Messungen, von dem Prozessor 8 berechnet. Die statistischen Eigenschaften werden mit der Benutzer-spezifizierten Grenzkontur in einem Schritt 25 verglichen, und die Meßbandbreite wird basierend auf dem Vergleich in einem Schritt 28 eingestellt. Die Meßbandbreite wird relativ zu der vorbestimmten Breite erhöht oder bei der maximalen Meßbandbreite gelassen, wenn die vorbestimmte Breite die maximale Bandbreite war, wenn der Mittelwert und die Varianz der gemessenen Daten in dem vorläufigen Datensatz um einen ausreichenden Betrag innerhalb der Grenzkontur sind. Die Meßbandbreite wird relativ zu der vorbestimmten Breite verringert, wenn der Mittelwert und die Meßunsicherheit oder ein Fehler, die durch die Varianz der Messungen innerhalb des Datensatzes angezeigt werden, nicht um einen ausreichenden Betrag innerhalb der Grenzkontur sind.

Alternativ werden die statistischen Eigenschaften, wie z. B. die Varianz der Messungen in dem Datensatz, mit einem Benutzer-spezifizierten maximal zulässigen Fehler in dem Schritt 25 verglichen, wobei die Bandbreite basierend auf dem Vergleich in dem Schritt 28 eingestellt wird. Die Meßbandbreite wird relativ zu der vorbestimmten Bandbreite erhöht oder bei der maximalen Breite gelassen, wenn die vorbestimmte Breite die maximale Breite war, wenn die Varianz der gemessenen Daten in dem vorläufigen Datensatz um einen ausreichenden Betrag kleiner als der maximal zulässige Meßfehler ist. Die Meßbandbreite würde relativ zu der vorbestimmten Breite verringert, wenn die Varianz der gemessenen Daten in dem vorläufigen Datensatz nicht um einen ausreichenden Betrag kleiner als der maximal zulässige Meßfehler ist.

Anschließend Messungen werden unter Verwendung der eingestellten Meßbandbreiten durchgeführt, wobei zusätzliche Daten des DUT aufgenommen werden, um in einem Schritt 29 das DUT besser zu charakterisieren. Diese zusätzlichen Daten, die in dem Schritt 29 erfaßt werden, werden dann zu den Daten in dem vorläufigen Datensatz hinzugefügt, worauf die Meßschritte 23 bis 29 der Bandbreitenoptimierung wiederholt werden.

Wenn die Vergleiche, die in den Schritten 25 und 26 durchgeführt werden, bestimmen, daß das DUT durch den vorläufigen Datensatz oder durch den vorläufigen Datensatz kombiniert mit anschließenden Messungen des DUT ausreichend charakterisiert ist, kann die Meßsequenz beendet werden. Die Bandbreitenoptimierung erhöht die Meßgeschwindigkeit des DUT, da das Bandbreitenoptimierungsmeßverfahren 20 adaptiv die Meßparameter des Netzwerkanalysators einstellt, so daß Messungen durchgeführt und Meßparameter eingestellt werden, bis das DUT geeignet charakterisiert ist, um Verhaltenskriterien mit einem ausreichenden Zuverlässigkeitsgrad zu erfüllen. Obwohl Benutzer-spezifizierte Grenzkonturen oder ein maximal zulässiger Fehler die Entscheidungskriterien sind, die in Fig. 2a gezeigt sind, können andere Entscheidungskriterien verwendet werden. So können beispielsweise ein Absolutleistungspegel oder Signalamplituden der Messungen in dem Datensatz, lokale Ableitungen oder Änderungen der Meßwerte zwischen benachbarten oder früheren Messungen als Entscheidungskriterien verwendet werden. Wenn die Entscheidungskriterien erfüllt sind, oder wenn die Messungen des DUT in dem Schritt 27 unterbrochen werden, kann die Bandbreitenoptimierung beendet werden.

Rauschoptimierung

Die Meßgeschwindigkeit des Netzwerkanalysators wird

ebenfalls erhöht, wenn die Anzahl von Meßwiederholungen oder Meßdurchgängen, die mit dem DUT durchgeführt werden, verringert wird. Ein Reduzieren der Anzahl von Durchgängen reduziert die Anzahl von Mittelungen oder den Mittelungsfaktor der Messung. Ein Reduzieren des Mittelungsfaktors erhöht jedoch die Rauschkomponente der Messung und erhöht demgemäß die Meßunsicherheit oder einen Fehler, da das Mitteln die Rauschkomponente der Messung um einen Faktor reduziert, der gleich der Quadratwurzel der Anzahl von Meßdurchgängen ist. Ein Mitteln von sechzehn wiederholten Meßdurchgängen, die mit dem DUT durchgeführt werden, reduziert beispielsweise die Rauschkomponente der Messung um einen Faktor 4, während ein Mitteln von neun wiederholten Meßdurchgängen, die mit dem DUT durchgeführt werden, die Rauschkomponente der Messung um einen Faktor 3 reduziert. Der Gewinn an Meßgeschwindigkeit aufgrund des Reduzierens des Mittelungsfaktors steht der entsprechenden Zunahme der Meßunsicherheit oder des Fehlers aufgrund der erhöhten Rauschkomponente gegenüber.

Die Rauschoptimierung findet einen Ausgleich zwischen der Zunahme der Meßgeschwindigkeit gegenüber dem maximal zulässigen Meßfehler, der Verhaltensgrenzkontur für das DUT oder anderen Entscheidungskriterien gemäß einer vorläufigen Messung des DUT. Die vorläufige Messung, die durch die Einheiten 1, 2 erfaßt wird, wird dem Prozessor 8 zugeführt, der die vorläufige Messung mit den Entscheidungskriterien vergleicht. Der Prozessor 8 stellt dann die Anregungen unter Verwendung der Steuersignale C1, C2 basierend auf den Vergleichen ein, so daß die Anzahl der Meßdurchgänge so niedrig als möglich eingestellt wird, während immer noch die Entscheidungskriterien erfüllt werden. Die Anzahl von Meßdurchgängen kann beispielsweise auf die niedrigste Anzahl eingestellt werden, bei der noch ein ausreichend niedriger Meßfehler erreicht wird. Alternativ wird die Anzahl von Meßdurchgängen auf die niedrigste Anzahl eingestellt, bei der der Mittelwert plus der Varianz um einen ausreichenden Betrag innerhalb der Verhaltensgrenzkontur des DUT sind.

Fig. 2b ist ein Flußdiagramm der Meßschritte der Rauschoptimierung, die in dem Meßverfahren 30 enthalten ist, das gemäß dem zweiten bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ausgeführt ist. In einem Schritt 31 wird die Anzahl von Meßdurchgängen auf eine vorbestimmte Anzahl eingestellt. Die vorbestimmte Anzahl basiert auf Meßcharakteristika, die von einem vorher gemessenen DUT erfaßt wurden, oder ist eine Benutzer-spezifizierte vorgegebene Anzahl. Bei diesem Beispiel wird die vorbestimmte Anzahl von Meßdurchgängen gleich zwei gesetzt. In einem Schritt 32 wird ein vorläufiger Datensatz basierend auf den zwei Meßdurchgängen erfaßt. Statistische Charakteristika der Messungen innerhalb des vorläufigen Datensatzes, wie z. B. der Mittelwert und die Varianz, werden in einem Schritt 34 von dem Prozessor berechnet. Die statistischen Eigenschaften werden mit der Benutzer-spezifizierten Grenzkontur oder mit einem Benutzer-spezifizierten maximal zulässigen Fehler in einem Schritt 36 verglichen. Basierend auf dem Vergleich in dem Schritt 36 wird in einem Schritt 37 eine Entscheidung getroffen, ob die Messungen innerhalb des Datensatzes ausreichend sind, um das DUT zu charakterisieren. Wenn die Varianz der Messungen in dem Datensatz um einen ausreichenden Betrag innerhalb des maximal zulässigen Fehlers ist, oder wenn der Mittelwert und die Varianz der Messungen in dem Datensatz um einen ausreichenden Betrag innerhalb der Grenzkontur sind, wird die Meßsequenz beendet. Wenn diese Kriterien nicht erfüllt werden, wird die Anzahl von Meßdurchgängen durch Erfassen weiterer Daten in einem Schritt 38 erhöht. Laufende sta-

tistische Charakteristika, wie z. B. der laufende Mittelwert und die Varianz, werden in einem Schritt 34 bestimmt, sobald die anschließenden Daten mit den Messungen des vorläufigen Datensatzes kombiniert werden.

Wenn der in einem Schritt 36 durchgeführte Vergleich bestimmt, daß das DUT durch den vorläufigen Datensatz oder den vorläufigen Datensatz kombiniert mit anschließenden Messungen des DUT ausreichend charakterisiert ist, kann die Meßsequenz beendet werden. Die Rauschoptimierung erhöht die Meßgeschwindigkeit des DUT, da die Anzahl von Meßdurchgängen erhöht wird, bis das DUT ausreichend charakterisiert ist, um Verhaltenskriterien mit einem ausreichenden Zuverlässigkeitsgrad zu erfüllen. Wenn die Entscheidungskriterien erfüllt sind, oder wenn die Messungen des DUT in einem Schritt 37 unterbrochen werden, wird die Rauschoptimierung beendet.

Punktoptimierung

Die Meßgeschwindigkeit des Netzwerkanalysators wird erhöht, wenn Messungen eines DUT bei einer reduzierten Anzahl von Anregungspunkten durchgeführt werden. Ein willkürliches Reduzieren der Anzahl von Anregungspunkten resultiert jedoch allgemein in einer weniger genauen Charakterisierung des DUT. Die Punktoptimierung bestimmt die Frequenzpositionen oder Anregungspunkte und resultierende Zunahmen der Meßgeschwindigkeit stehen ein Zunehmen der Meßunsicherheit oder des Fehlers des Netzwerkanalysators gegenüber. Basierend auf vorläufigen Messungen des DUT stellt der Prozessor die Steuersignale C1, C2 ein, um entsprechend die Frequenzen der Signalquellen S1 bzw. S2 einzustellen, um die Anzahl und die Frequenzpositionen der Anregungspunkte zu bestimmen, bei denen Messungen des DUT durchgeführt werden.

Fig. 2c ist ein Flußdiagramm 40 der Punktoptimierung, die in dem Meßverfahren gemäß dem dritten bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung enthalten ist. In einem Schritt 41 werden die Anzahl und Frequenzpositionen der Anregungspunkte auf einen vorbestimmten Satz eingestellt. Der vorbestimmte Satz wird von einem vorher charakterisierten DUT erfaßt oder ist ein Benutzer-spezifischer vorgegebener Satz. Ein vorläufiger Datensatz wird dann bei dem vorbestimmten Satz von Anregungspunkten in einem Schritt 42 erfaßt. In einem Schritt 43 werden die Messungen des vorläufigen Datensatzes verarbeitet. Die Verarbeitung kann ein Kurven-Anpassen der Daten umfassen, um Charakteristika des DUT bei Frequenzpositionen zwischen den Meßpunkten in dem vorbestimmten Satz zu bestimmen, oder kann das Bestimmen der Frequenzpositionen von lokalen Minima, Maxima, Wendepunkten, von Ableitungen oder von anderen Charakteristika des DUT umfassen. Alternativ kann die Verarbeitung das Vergleichen der gemessenen Daten in dem Datensatz mit einer Benutzerspezifisierten Grenzkontur, einem maximal zulässigen Fehler oder anderen Entscheidungskriterien umfassen. Basierend auf der Verarbeitung der gemessenen Daten in dem vorläufigen Datensatz werden die Steuersignale C1 oder C2 eingestellt, um entsprechend die Anzahl und die Frequenzpositionen oder die Dichte der Anregungspunkte einzustellen, bei denen anschließende Messungen durchgeführt werden. In einem Schritt 45 beispielsweise kann die Dichte der Anregungspunkte gemäß der Nähe des Satzes von Messungen an der Grenzkontur eingestellt werden. Anschließend Daten werden bei den eingestellten Erregungspunkten in einem Schritt 46 erfaßt. Wenn die Entscheidungskriterien erfüllt sind, oder wenn die Messungen des DUT in einem Schritt 44 unterbrochen werden, wird die Punktoptimierung beendet.

Anschließend Messungen können in feinen Frequenzin-

krementen bei lokalen Maxima oder Minima, wie sie von den Charakteristika des Kurvenanpassens vorhergesagt werden, durchgeführt werden, während Messungen bei groben Frequenzschritten durchgeführt werden können, wenn durch das Kurvenanpassen keine lokalen Maxima oder Minima vorhergesagt werden, oder wenn die Messungen im vorläufigen Datensatz um einen ausreichenden Betrag innerhalb der Benutzer-spezifisierten Grenzkontur oder um einen ausreichenden Betrag innerhalb des maximal zulässigen Fehlers sind. Die feinen Frequenzinkremente liefern eine hohe Meßgenauigkeit, während die groben Frequenzschritte die Meßgeschwindigkeit erhöhen.

Patentansprüche

1. Meßverfahren (20) zum adaptiven Einstellen der Meßbandbreite eines Netzwerkanalysators (40), um ein zu testendes Element (DUT) zu charakterisieren, mit folgenden Schritten:

Einstellen (21) der Meßbandbreite des Netzwerkanalysators auf eine vorbestimmte Breite;

Erfassen (22) eines Satzes von Messungen des zu testenden Elements, während die Meßbandbreite auf der vorbestimmten Breite ist;

Vergleichen (24, 25, 26) des Satzes von Messungen mit einem Entscheidungskriterium; und

Einstellen (28) der Meßbandbreite des Netzwerkanalysators, Erfassen (29) von zusätzlichen Messungen unter Verwendung der eingestellten Meßbandbreite, Aktualisieren des Satzes von Messungen mit den zusätzlichen Messungen, Vergleichen (27) des Satzes von Messungen mit dem Entscheidungskriterium, bis entweder eine Unterbrechung oder eine Erfüllung des Entscheidungskriteriums auftritt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Einstellens (28) der Meßbandbreite des Netzwerkanalysators ein Einstellen der Bandbreite eines analogen Filters umfaßt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Einstellens (28) der Meßbandbreite des Netzwerkanalysators das Einstellen der Verarbeitungsbandbreite eines digitalen Filters umfaßt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das ferner den Schritt des Berechnens (24) statistischer Charakteristika des Satzes von Messungen umfaßt, wobei das Vergleichen (25, 26) des Satzes von Messungen mit einem Entscheidungskriterium das Vergleichen der statistischen Charakteristika mit dem Entscheidungskriterium umfaßt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die statistischen Charakteristika einen Mittelwert und eine Varianz des Satzes von Messungen umfassen.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das Entscheidungskriterium eine Grenzkontur für das zu testende Element ist, und eine Erfüllung des Entscheidungskriteriums auftritt, wenn der Mittelwert plus der Varianz des Satzes von Messungen um einen vorbestimmten Betrag innerhalb der Grenzkontur ist.

7. Das Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das Entscheidungskriterium ein maximal zulässiger Fehler ist und eine Erfüllung des Entscheidungskriteriums auftritt, wenn die Varianz um einen vorbestimmten Betrag innerhalb des maximal zulässigen Fehlers liegt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Erfüllung des Entscheidungskriteriums auftritt, wenn der Satz von Messungen um einen vorbestimmten Betrag innerhalb der Grenzkontur ist.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-

che, bei dem das Entscheidungskriterium eine vordefinierte Amplitude ist und eine Erfüllung des Entscheidungskriteriums auftritt, wenn der Satz von Messungen innerhalb eines vorbestimmten Bereichs der vordefinierten Amplitude ist.

10. Meßverfahren (30) zum adaptiven Einstellen der Anzahl von Meßdurchgängen eines Netzwerkanalysators (10) zum Charakterisieren eines zu testenden Elements bei zumindest einem Anregungspunkt, mit folgenden Schritten:

Erfassen (32) eines Satzes von Messungen unter Verwendung einer vorbestimmten Anzahl von Meßdurchgängen;

Berechnen (34) statistischer Eigenschaften des Satzes von Messungen;

Vergleichen (36) der statistischen Eigenschaften mit einem Entscheidungskriterium; und

Erhöhen (38) der Anzahl von Meßdurchgängen von der vorbestimmten Anzahl von Meßdurchgängen, um zusätzliche Messungen zu erfassen, Kombinieren der zusätzlichen Messungen, um den Satz von Messungen zu aktualisieren, Berechnen der statistischen Eigenschaften des Satzes von Messungen, Vergleichen der statistischen Eigenschaften mit dem Entscheidungskriterium, bis entweder eine Unterbrechung oder eine Erfüllung des Entscheidungskriteriums auftritt.

11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem der Satz von Messungen zumindest zwei Messungen des zu testenden Elements bei jedem des zumindest einen Anregungspunktes umfaßt.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, bei dem das Berechnen der statistischen Eigenschaften das Berechnen eines Mittelwerts und einer Varianz des Satzes von Messungen bei dem zumindest einen Anregungspunkt umfaßt.

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem das Entscheidungskriterium eine Grenzkontur für das zu testende Element ist und eine Erfüllung des Entscheidungskriteriums auftritt, wenn der Mittelwert plus der Varianz um einen vorbestimmten Betrag innerhalb der Grenzkontur ist.

14. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem das Entscheidungskriterium ein maximal zulässiger Fehler ist und eine Erfüllung des Entscheidungskriteriums auftritt, wenn die Varianz um einen vorbestimmten Betrag innerhalb des maximal zulässigen Fehlers ist.

15. Meßverfahren (40) zum adaptiven Einstellen der Frequenzpositionen von Anregungspunkten eines Netzwerkanalysators (10) zum Charakterisieren eines zu testenden Elements, mit folgenden Schritten:

Erfassen (42) eines Satzes von Messungen bei vorbestimmten Frequenzpositionen;

Verarbeiten (43) des Satzes von Messungen;

Einstellen (45) der Frequenzpositionen von Anregungspunkten basierend auf der Verarbeitung;

Erfassen (46) zusätzlicher Messungen bei den eingestellten Anregungspunkten, bis entweder eine Unterbrechung oder eine Erfüllung des Entscheidungskriteriums auftritt (44).

16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem das Entscheidungskriterium eine Grenzkontur ist und der Schritt des Verarbeitens des Satzes von Messungen das Vergleichen des Satzes von Messungen mit der Grenzkontur umfaßt.

17. Verfahren nach Anspruch 16, bei dem der Schritt des Einstellens der Frequenzpositionen der Anregungspunkte das Einstellen der Dichte der Frequenzpositionen der Anregungspunkte gemäß der Nähe des Satzes

von Messungen zu der Grenzkontur umfaßt.

18. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem der Schritt des Verarbeitens des Satzes von Messungen ein Kurvenanpassen an den Satz von Messungen umfaßt.

19. Verfahren nach Anspruch 18, bei dem der Schritt des Einstellens der Frequenzpositionen der Anregungspunkte das Positionieren der Anregungspunkte gemäß Eigenschaften des Kurvenanpassens umfaßt.

20. Verfahren nach Anspruch 19, bei dem der Schritt des Einstellens der Frequenzpositionen der Anregungspunkte ferner das Einstellen der Dichte der Frequenzpositionen der Anregungspunkte gemäß zumindest entweder einem Maximum oder einem Minimum oder beiden umfaßt, die durch das Kurvenanpassen bestimmt werden.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

ZEICHN

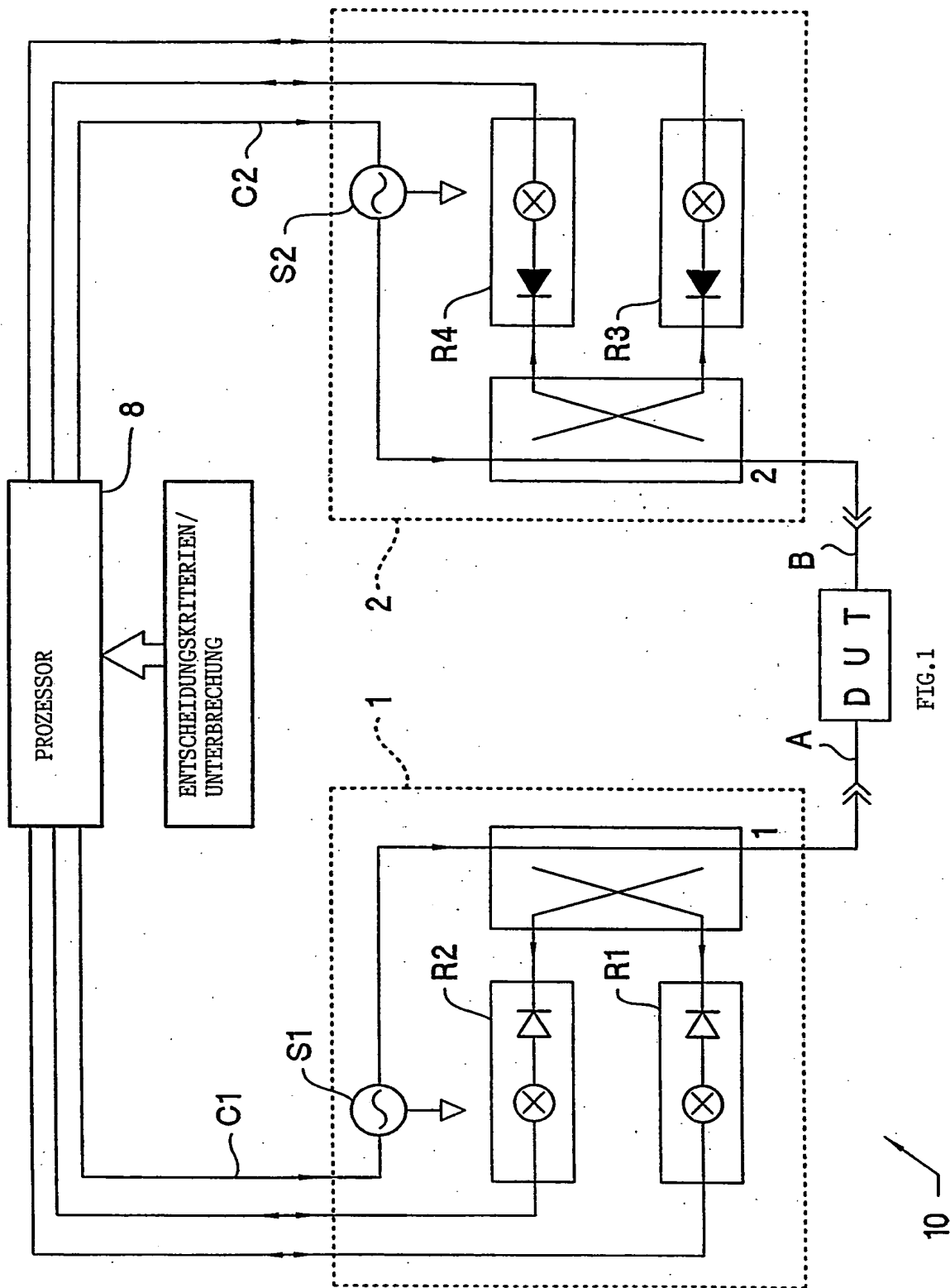


FIG. 1

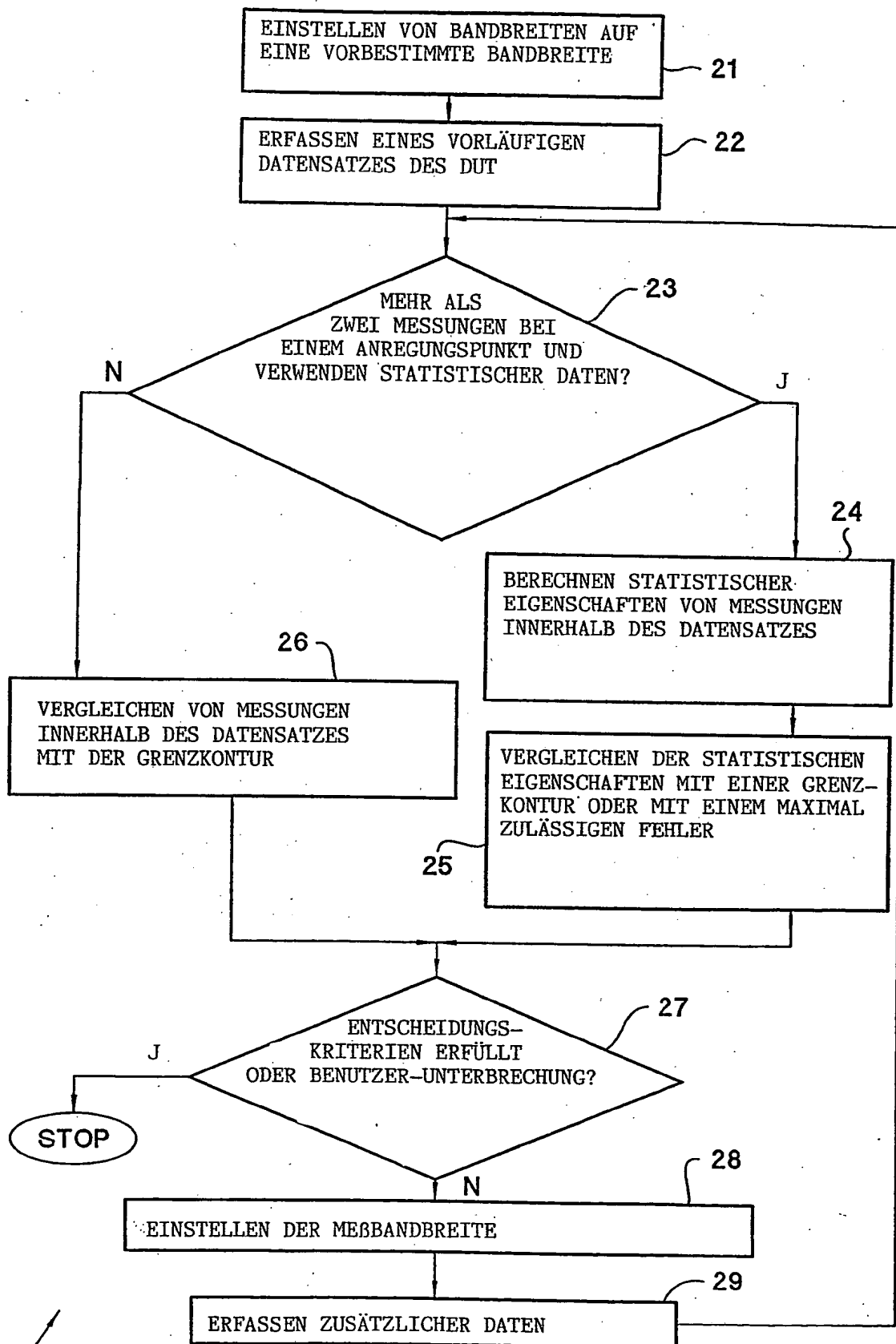


FIG. 2a

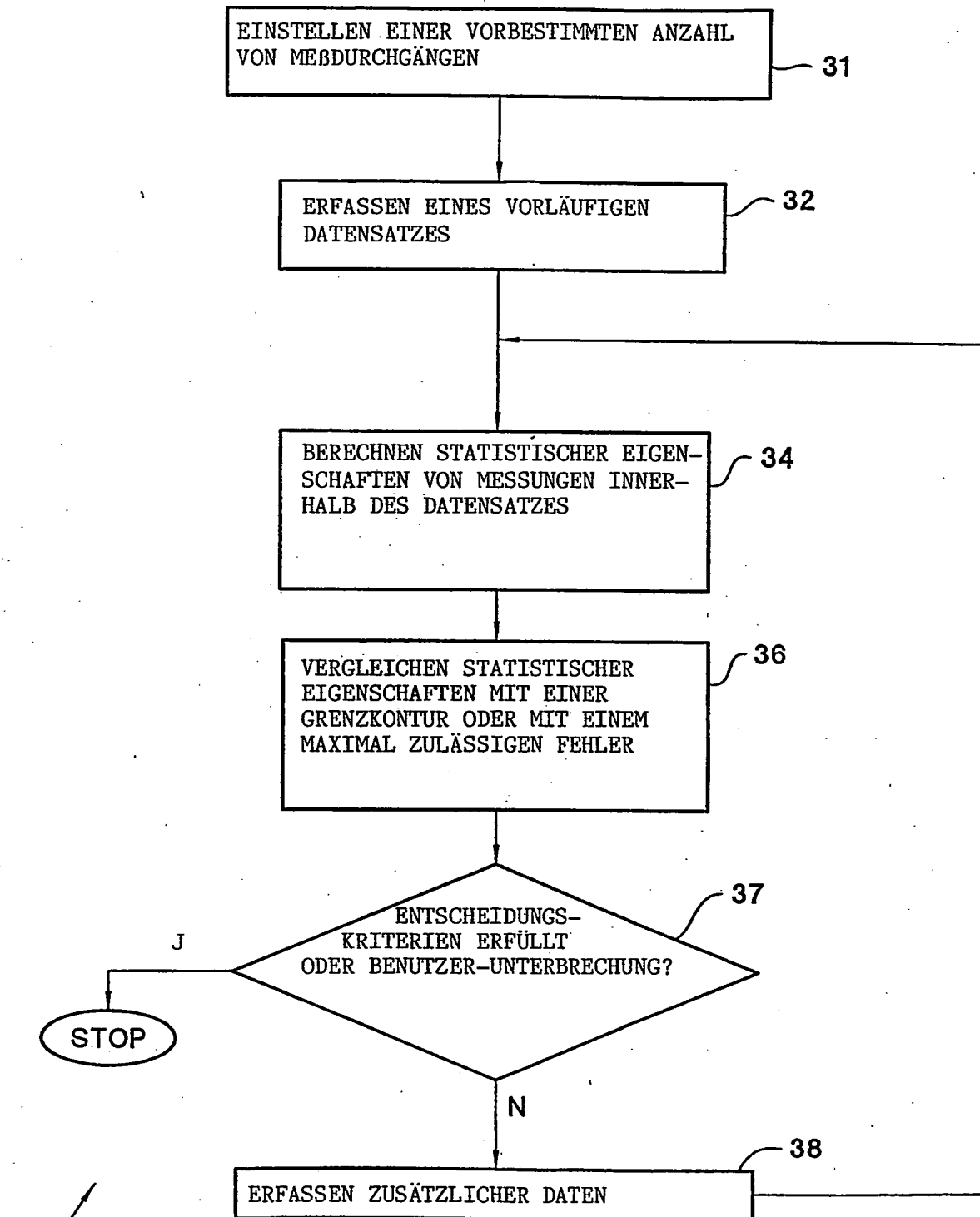


FIG. 2b

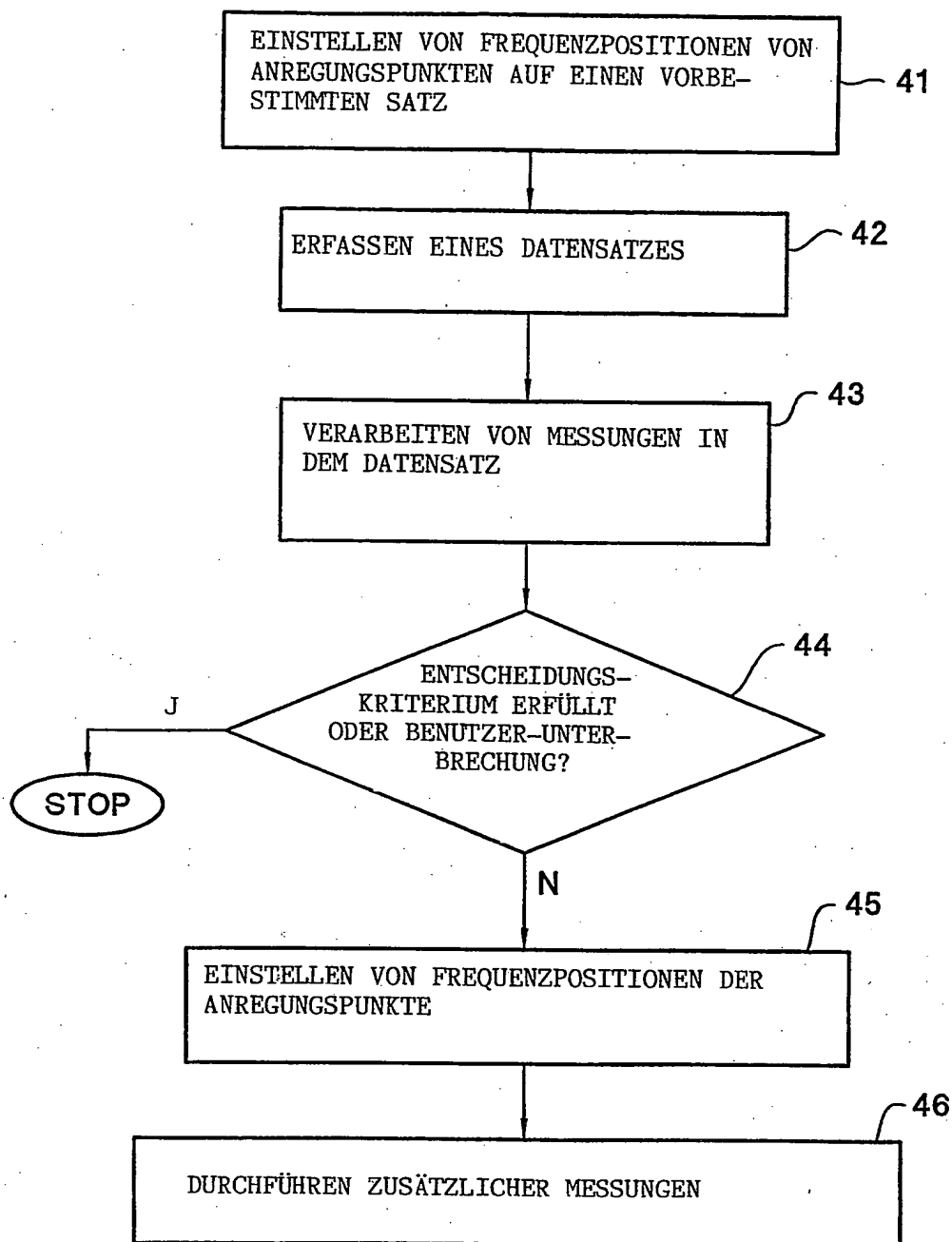


FIG. 2c

40